

플랜트 모델참조를 이용한 병렬형 퍼지제어기 설계

Design of Parallel Type Fuzzy Controller Using Model Reference Plant

추연규
(Yeon-Gyu Choo)

Abstract : Parallel type fuzzy controller is designed by using a hybrid connected type fuzzy-PID controller and a model reference fuzzy controller. The first controller, consists of a fuzzy-PI and a fuzzy-PD making a hybrid type fuzzy-PID controller, plays a role as firstly reaching stable responses and secondly overcoming disturbance in plants. The second controller, model reference fuzzy controller, plays a role as reaching faster responses than other controllers. We have confirmed that the controller produces rapid and stable responses and overcomes disturbance by using parallel type fuzzy controller in a DC motor application.

Keywords : fuzzy-PID controller, model reference, parallel fuzzy controller

I. 서론

많은 제어시스템의 응답특성에서 가장 중요한 목적은 빠른 응답조건, 정밀한 제어 그리고 파라미터의 변화나 불확실한 외란 발생시 강인한 특성을 나타낼 수 있어야 한다. 이러한 관점에서 볼 때 PID 제어기는 계수값을 조정하기가 쉽지 않으며, 불확실한 외란에 대해 강인하지 못하다는 단점이 있다[1-4]. 이에 비해 퍼지제어기는 제어조정 능력의 자유도가 높고 파라미터 변화나 잡음에 대한 민감도가 낮아 견실하다는 장점이 있다. 그러나 퍼지제어 규칙들을 유도해 내는데는 직관적이고 경험적인 경향이 많기 때문에 불규칙의 범위를 어떻게 정하는가 하는 문제점이 있다[5-6]. 또한 PD형 퍼지제어기만을 단독으로 사용하면 정상상태 오차를 제거할 수 없게 되고, PI형 퍼지제어기 단독으로는 과도응답의 특성이 좋지 않게 된다.[7] Hong Lian[8]은 PI형 퍼지제어기와 PD형 퍼지제어기를 결합한 Hybrid형 퍼지-PID 제어기를 사용하여 제어대상의 변화나 외란에 대해 매우 강인한 특성이 나타남을 확인하였다. 그러나 이 방법을 사용하는 경우 빠른 응답특성을 얻기가 힘들다. 따라서 본 논문에서는 빠른 응답특성을 나타내기 위하여 모델참조를 통하여 빠른 응답특성을 나타낼 수 있도록 플랜트 모델참조를 이용한 병렬형 퍼지제어기를 설계하였다. 제안된 제어기를 사용하여 DC 모터에 적용하여 그 성능을 확인하였다.

II. Hybrid형 퍼지-PID 제어기

PID 제어기는 산업현장에서 널리 사용되고 있으나, 플랜트의 변화나 외란 발생시 각 계수 값을 다시 수정해야 하는 단점이 있다. 이를 보완하기 위하여 많은 방법들이 소개되었다[7-9]. 대표적인 방법으로 인간의 사고방식과 유사한 특징을 가지는 퍼지를 들 수 있다. 퍼지는 미지의 대상물에 대해 매우 강인한 특징을 가지며 대상물의 변화에 대한 적응력이 뛰어나다. 그러나 일반적인 퍼지제어기의 경우 제어규칙과 멤버십 함수의 형태 설정에 있어 전문가의 경험적인 경향이

많기 때문에 제어 대상에 대한 불규칙의 범위를 어떻게 정하는가 하는 문제점이 있다.[10] 본 논문에서는 이러한 문제점들을 보완하기 위하여 PI형 퍼지제어기와 PD형 퍼지제어기를 결합한 Hybrid형의 퍼지-PID 제어기를 사용하였다. 그림 1은 Hybrid형 퍼지-PID 제어기의 블록도를 나타낸 것이다. 그림 1을 통해 알 수 있듯이 퍼지-PID 제어기는 PI형 퍼지제어기와 PD형 퍼지제어기를 결합하여 PID 제어기와 같은 동작을 하게 된다[8]. 그림 2는 본 논문에서 사용한 퍼지-PI, 퍼지-PD 제어기의 멤버십 함수를 나타낸 것이다.

사용된 Hybrid형 퍼지-PID 제어기의 추론은 Mamdani의 Max-Min연산을 사용하였고, 비퍼지화는 무게중심법을 사용하였다[7][9].

표 1과 2는 본 논문에서 사용한 Hybrid형 퍼지-PID 제어기의 규칙표를 나타낸 것이다.

III. 병렬형 퍼지제어기

앞 절에서 설계된 Hybrid형 퍼지-PID 제어기의 단점을 보완하기 위하여 모델참조 퍼지제어기를 결합하여 빠른응답을 얻을 수 있도록 병렬형 퍼지제어기를 설계하였다. 사용된 모델참조 퍼지제어기는 플랜트에 대해 빠른 응답특성을 얻기 위해 적은 규칙으로 설계되었다. 그림 3과 표 4는 모델참조 퍼지제어기의 입출력 함수의 멤버십 함수와 규칙표를 나타내었다.

그림 4는 Hybrid형 퍼지-PID 제어기에 병렬로 모델참조 퍼지제어기가 결합한 병렬형 퍼지제어기를 사용한 제어시스

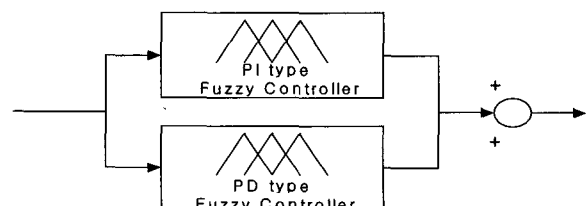


그림 1. Hybrid형 퍼지-PID 제어기의 구조.

Fig. 1. A Structure of Hybrid type Fuzzy-PID controller.

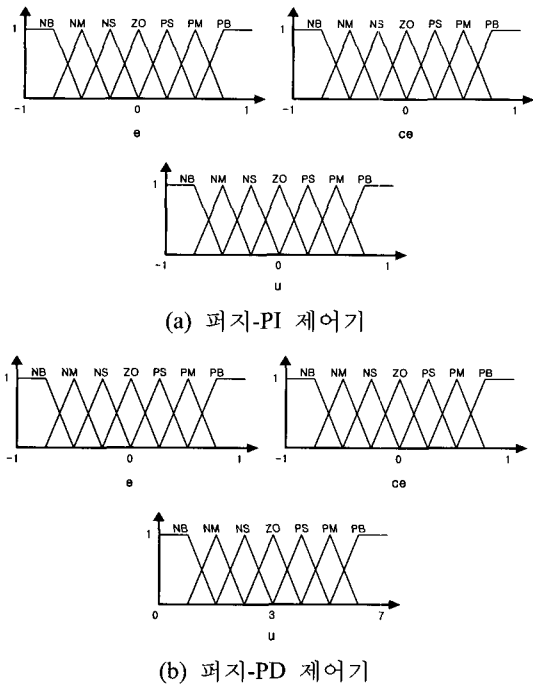


그림 2. Hybrid형 퍼지-PID 제어기의 멤버십 함수.
Fig. 2. Membership functions of Hybrid type Fuzzy-PID Controller.

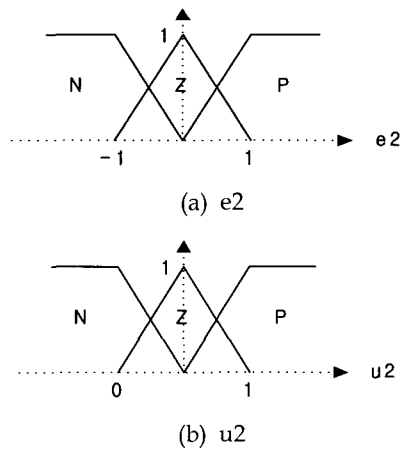


그림 3. 멤버십 함수.
Fig. 3. Membership functions.

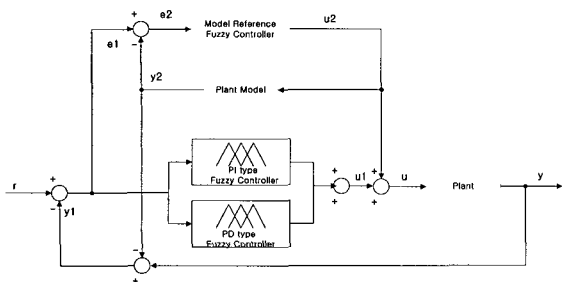


그림 4. 제안된 제어기를 사용한 제어시스템의 블록도.
Fig. 4. Control system's block diagram using the proposed controller.

표 1. 퍼지-PI 규칙표.

Table 1. Rule table of Fuzzy-PI.

| | | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|
| e ce | NB | NM | NS | ZO | PS | PM | PB |
| NB | NB | NB | NB | NB | NM | NS | ZO |
| NM | NB | NB | NB | NM | NS | ZO | PS |
| NS | NB | NB | NM | NS | ZO | PS | PM |
| ZO | NB | NM | NS | ZO | PS | PM | PB |
| PS | NM | NS | ZO | PS | PM | PB | PB |
| PM | NS | ZO | PS | PM | PB | PB | PB |
| PB | ZO | PS | PM | PB | PB | PB | PB |

표 2. 퍼지-PD 규칙표.

Table 2. Rule table of Fuzzy-PD.

| | | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|
| e ce | NB | NM | NS | ZO | PS | PM | PB |
| NB | NB | NB | NB | NB | NM | NS | ZO |
| NM | NB | NB | NB | NM | NS | ZO | PS |
| NS | NB | NB | NM | NS | ZO | PS | PM |
| ZO | NB | NM | NS | ZO | PS | PM | PB |
| PS | NM | NS | ZO | PS | PM | PB | PB |
| PM | NS | ZO | PS | PM | PB | PB | PB |
| PB | ZO | PS | PM | PB | PB | PB | PB |

표 3. 모델참조 퍼지제어기의 규칙표.

Table 3. Rule table of Model Reference Controller.

| | | | |
|----------|----|----|----|
| y2 e1 | N | Z | P |
| N | NB | NS | Z |
| Z | NS | Z | PS |
| P | Z | PS | PB |

템의 구성도를 나타내었다. 제안된 병렬형 퍼지제어기는 안정된 응답특성과 빠른 응답을 갖도록 설계하였다. Hybrid형 퍼지-PID 제어기를 통해 원하는 응답특성에 대한 안정성을 높일 수 있다. 그리고 모델참조 퍼지제어기를 통해 빠른 응답특성을 얻을 수 있다. 그림 4에서 사용된 각 변수들은 r 은 원하는 신호, y 는 실제출력, $y_1 = y - y_2$ 은 플랜트

모델과 실제 플랜트의 출력차, y_2 는 플랜트 모델의 출력, u 는 제안된 제어기 출력, u_1 은 Hybrid형 퍼지-PID 제어기의 출력, u_2 는 모델 참조 퍼지 제어기의 출력이며 $e_1 = r - y_1$, $e_2 = r - y_2$ 이다.

IV. 모의 실험

제안된 제어기의 성능을 평가하기 위하여 플랜트로 DC Motor를 사용하여 모의실험을 하였다. 그림 5는 가장 대표적인 전기자의 모델을 나타내고 있다.[12-13]

그림 5에서 사용된 변수들은 표 4와 같다. 여기서 V는 전원 전압, θ 는 모터의 회전속도이다.

$$J \dot{\theta} + b\theta = K_i \tag{1}$$

$$L \frac{di}{dt} + Ri = V - k\theta \tag{2}$$

(1)과 (2)는 입력에 따른 전압과 상태변수로써 나타낸 것이다. 전기자 전류와 회전속도의 선택에 의해 (3)과 (4)의 상태방정식으로 정의된다[11].

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \theta \\ i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{b}{J} & \frac{K}{J} \\ -\frac{K}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} V \tag{3}$$

$$\theta = [1 \ 0] \begin{bmatrix} \theta \\ i \end{bmatrix} \tag{4}$$

(3)과 (4)를 이용하여 설계된 DC 모터의 모델링식은 (5)와 같다.

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{20}{s^2 + 12s + 20.2} \tag{5}$$

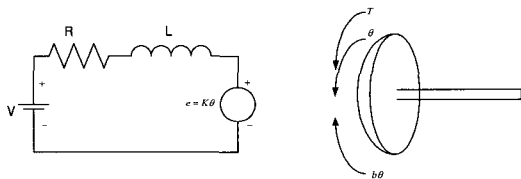


그림 5. DC 모터의 블록도.
Fig. 5. Block Diagram of DC Motor.

표 4. DC 모터의 사양.
Table 4. Specification of DC Motor.

| Parameters | Value |
|-----------------------|--|
| 로터 내부관성 (J) | 0.01 kg.m ² /s ² |
| 기계적 진동비 (b) | 0.1 Nms |
| 전기 상수 ($K=K_e=K_t$) | 0.01 Nm/Amp |
| 저항 | 1 ohm |
| 인덕턴스 | 0.5 H |

그림 6은 모델참조 퍼지제어기를 사용하지 않은 경우와 본 논문에서 제안한 제어방법을 사용한 출력파형으로서 외란이 인가하지 않은 경우를 나타낸 것이다. 결과를 통해 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 방법이 원하는 응답에 매우 빨리 도달함을 알 수 있다. 그림 7은 외란을 인가한 경우의 출력파형을 나타낸 것이다. 출력파형 결과를 통해 알 수 있듯이 외란을 인가하였음에도 불구하고 빠른 시간내에 원하는 응답이 나타남을 확인하였으며, 또한 안정된 응답특성이 이루어짐을 확인하였다. 그림 8은 논문에서 제안한 제어방법에 대해 외란을 인가한 경우의 제어신호를 나타낸 것이다.

표 5는 Hybrid형 Fuzzy-PID 제어기와 본 논문에서 제안한 병렬형 퍼지제어기에 대해 외란이 없는 경우에 대하여 제어 성능지수를 비교하였다. 표 5에서 제안된 제어기를 사용했을 때 t_d , t_r , t_s 가 Hybrid형 Fuzzy-PID 제어기를 사용했을 때보다도 빠른 응답을 나타냄을 알 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 모델참조 퍼지제어기와 Hybrid형 퍼지-PID 제어기가 결합된 병렬형 제어기를 설계하였다. 본 논문에서

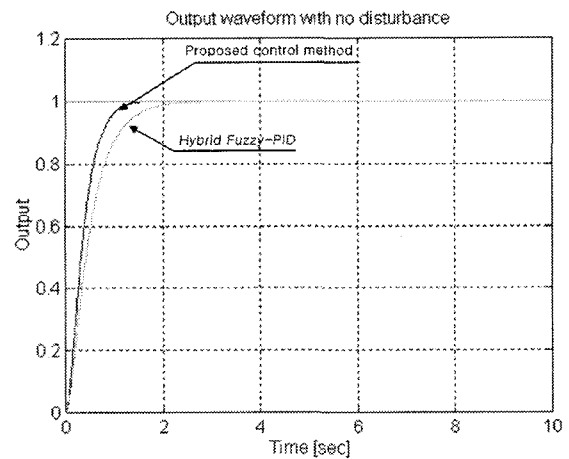


그림 6. 외란을 포함하지 않는 경우의 출력응답.
Fig. 6. Output waveform with no disturbance.

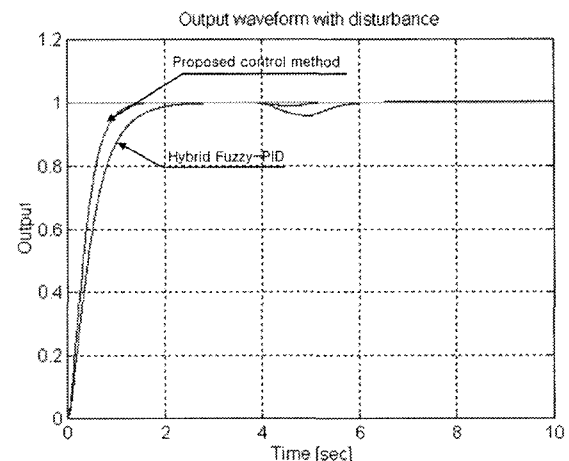
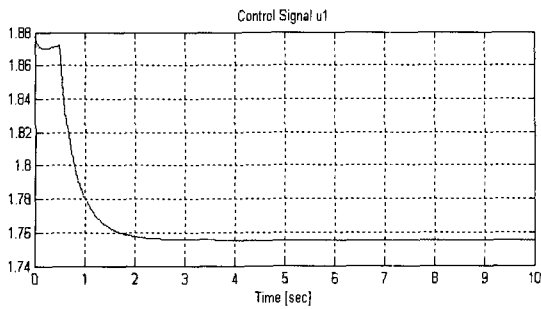
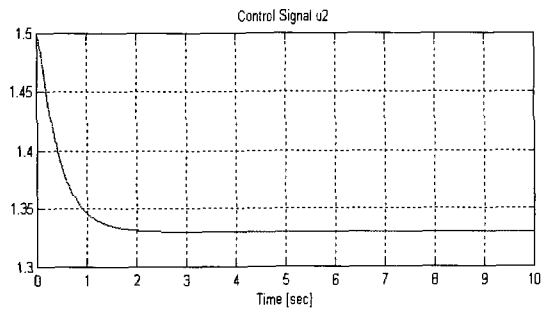


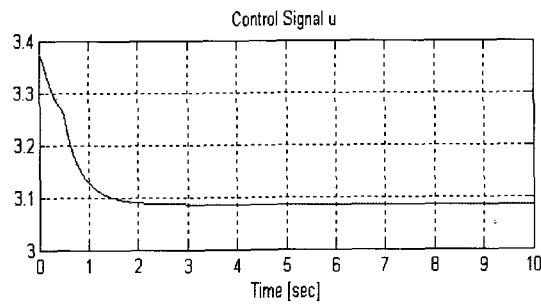
그림 7. 외란을 포함한 경우의 출력응답.
Fig. 7. Output waveform with disturbance.



(a) 제어신호 u1



(b) 제어신호 u2



(c) 제어신호 u3

그림 8. 제안된 제어방법을 사용한 경우의 제어 신호.
Fig. 8. Control signal using proposed control method.

표 5. 제어 성능지수 비교.

Table 5. The Comparison of Performance of Index.

| | Proposed Controller | Hybrid Fuzzy-PID |
|-------|---------------------|------------------|
| t_d | 0.45 sec | 0.88 sec |
| t_r | 0.92 sec | 2.10 sec |
| t_s | 1.52 sec | 2.81 sec |

는 Hybrid형 퍼지-PID 제어기에 병렬로 모델참조 퍼지제어기가 결합한 병렬형 퍼지제어기를 설계 하였다. 제안된 제어를 사용하여 모의실험을 통하여 나타난 결과 Hybrid형 퍼지-PID 제어기보다도 안정된 응답특성과 빠른 응답을 확인하였다. 제안된 병렬형 퍼지제어기의 특징은 모델참조 퍼지제어기는 원하는 응답에 대해 빠른 응답특성을 나타내는 역할

을 하였으며, Hybrid형 퍼지-PID 제어기를 통해 원하는 응답 특성에 대한 안정성을 높일 수 있었다.

모의실험을 통하여, 제안된 병렬형 퍼지제어기의 안정성과 빠른 응답특성을 확인하였지만, 실제 로봇과 같은 플랜트에 적용하여 강인성 등의 문제점을 보완하는 것이 추후의 과제라 할 것이다.

참고문헌

- [1] S. Jung and R. C. Dorf, "Analytic PID controller design technique for a third order system", *Proc. of the 35th International Conference on Decision and Control*, pp. 2513-2517, 1996.
- [2] C. C. Hang, K. J. Åström, and W. K. Ho, "Refinements of the Ziegler-Nichols tuning formula" *Proc. IEEE.*, vol. 138, pp. 111-118, 1991.
- [3] R. C. Dorf and D. R. Miller, "A method for enhanced PID controller design", *Journal of Robotics and Automation*, vol. 6, pp. 41-47, 1991.
- [4] R. C. Dorf and R. H. Bishop, *Modern Control Systems*, 7th edition, Addison Wesley, 1995.
- [5] M. Kevin, Passino, S. Yurkovich, *Fuzzy Control*, pp. 230-240, 1998.
- [6] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and Its applications to modelling and control", *IEEE Tranactopm on SMC*, 15 (1), pp. 116-132. 1985.
- [7] 김봉주, 정정주, "퍼지 PID 제어를 이용한 추종 제어기 설계". 제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지, vol. 7, no. 7, pp. 622-631, 2001.
- [8] H. Lian, H. Christopher, Messom, P. Kong, Yue, "Fuzzy hybrid PID controller of a steam heated dryer", *IEEE International Fuzzy Systems Conference Proceedings*, pp. 1701-1711, 1999.
- [9] 김종욱, 김상우, "가스터빈 시스템을 위한 퍼지-PI 제어기의 설계", 제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지 제6 권 제11호, 2000. 11, pp. 1013-1021.
- [10] 박재형, 김승철, 조용성, 최부귀, "퍼지 보상기와 퍼지 동조기를 이용한 PID 제어기의 Deadzone을 포함한 시스템제어", 한국해양정보통신학회, vol 3, no. 2, pp. 403-410. 1999.
- [11] S. Cong, G. Li, "Parallel Bi-Fuzzy Controller", *Proc. 2nd Asian Control Conference*, pp. 723-726, 1997.
- [12] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 2nd edition, Prentice Hall, 1990.
- [13] G. Liaw, F. Lin, "A robust speed controller for induction motor drives", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, pp. 308-315, 1994.



추연규

1962년 1월 22일생. 1988년 부경대학교 전자공학과(공학사). 1991년 동아대 전자공학과(공학석사). 1997년 동 대학원(공학박사). 1997년-현재 진주산업대학교 전자공학과 부교수. 주 관심분야 지능제어, 마이크로 프로세서 응용.